

车联网（V2X）中5GURLLC技术的可靠性验证与场景适配

储元舒

河北广电网络集团秦皇岛有限公司 河北 秦皇岛 066000

摘要：本文聚焦于车联网（V2X）场景下5G超可靠低时延通信（URLLC）技术的可靠性验证与场景适配问题。首先阐述了车联网的发展现状及对通信技术的关键需求，强调了URLLC技术在车联网中的核心地位。接着深入剖析了URLLC技术的原理与特性，详细介绍了可靠性验证的指标体系和测试方法，包括理论分析、仿真实验和实际场景测试等。然后针对车联网的不同应用场景，如自动驾驶、智能交通管理等，探讨URLLC技术的场景适配策略，分析不同场景下对时延、可靠性等指标的具体要求以及技术实现难点。

关键词：车联网（V2X）；5GURLLC技术；可靠性验证；场景适配

1 引言

车联网（Vehicle-to-Everything,V2X）通过车辆与道路基础设施（V2I）、其他车辆（V2V）、行人（V2P）及云端平台（V2N）的实时信息交互，构建起智能交通的“神经中枢”。据工信部《车联网产业发展行动计划》预测，到2025年，中国车联网用户渗透率将突破60%，然而，传统4G网络时延（约50ms）与可靠性（99.9%）难以满足车联网对紧急制动、编队行驶等场景的极致需求。例如，高速公路场景下，100km/h时速的车辆在50ms时延内将行驶1.39米，足以引发严重碰撞事故。5GURLLC技术凭借1ms级超低时延、99.999%超高可靠性及大规模机器通信（mMTC）能力，成为车联网通信的核心解决方案。其通过灵活帧结构设计、多址接入优化及信道编码增强等技术创新，突破了传统蜂窝网络的性能瓶颈^[1]。

2 5GURLLC 技术原理、特性与车联网需求分析

2.1 URLLC技术的关键技术

2.1.1 短帧结构与快速调度

URLLC采用短帧结构设计，减少了数据传输的时间开销。同时，通过快速调度机制，能够在短时间内为URLLC业务分配无线资源，确保低时延传输。例如，5G新空口（NR）引入了更短的传输时间间隔（TTI），将传统的1msTTI缩短至0.125ms甚至更短，大大降低了数据传输的时延。

2.1.2 先进的调制编码与多天线技术

采用高阶调制和低密度奇偶校验码（LDPC）等先进的调制编码技术，在保证一定误码率的前提下提高数据传输速率。多天线技术如大规模多输入多输出（MIMO）技术，通过增加天线数量，提高空间分集和复用增益，

增强信号的抗干扰能力和传输可靠性。

2.1.3 混合自动重传请求（HARQ）增强技术

HARQ技术结合了前向纠错编码（FEC）和自动重传请求（ARQ）的优点，在接收端检测到数据错误时，能够快速请求发送端重传数据，并通过合并多次传输的数据来提高正确解码的概率。URLLC对HARQ技术进行了增强，如采用更快的重传机制和更灵活的重传策略，以进一步降低时延。

2.2 URLLC技术的性能指标

2.2.1 时延

时延是URLLC技术的核心指标之一，包括端到端时延、处理时延、传输时延等。端到端时延是指从数据源发送数据到目的地接收到数据所经历的总时间，车联网中的自动驾驶等应用对端到端时延要求极为严格，通常需要在毫秒级别^[2]。

2.2.2 可靠性

可靠性通常用数据传输的成功率来衡量，即在一定时间内成功传输的数据包数量与总发送数据包数量的比值。车联网场景下，URLLC技术的可靠性要求极高，例如在关键安全信息传输中，可靠性需达到99.999%以上，以确保车辆的行驶安全。

2.2.3 可用性

可用性是指URLLC服务在特定时间和条件下能够正常使用的概率。它受到网络覆盖、设备故障、干扰等多种因素的影响，在车联网中，高可用性是保证车辆始终能够获得可靠通信服务的关键。

2.3 车联网场景需求与挑战

车联网场景对通信性能的需求呈现显著差异化特征（如下表）：

场景类型	典型业务	时延要求	可靠性要求	数据速率需求
车路协同	信号灯状态推送	$\leq 50\text{ms}$	$\geq 99.9\%$	0.1-1Mbps
自动驾驶	紧急制动指令传输	$\leq 10\text{ms}$	$\geq 99.999\%$	10-50Mbps
编队行驶	车间距动态调整	$\leq 5\text{ms}$	$\geq 99.99\%$	5-20Mbps
远程驾驶	实时视频流传输	$\leq 20\text{ms}$	$\geq 99.99\%$	50-100Mbps

挑战包括：一是动态环境适应性：城市峡谷、隧道等场景导致信号衰减超过30dB，需通过智能反射面（RIS）技术增强覆盖。二是多业务并发冲突：eMBB（增强移动宽带）与URLLC业务共享频谱时，需通过灵活调度算法避免资源抢占。三是安全隐私风险：V2X数据涉及车辆位置、驾驶行为等敏感信息，需引入区块链与可信执行环境（TEE）保障数据安全。

3 5GURLLC 技术在车联网中的可靠性验证方法

3.1 可靠性验证指标体系构建

3.1.1 时延相关指标

除了端到端时延外，还包括最大时延、时延抖动等指标。最大时延反映了数据传输过程中可能出现的最长时延情况，对于实时性要求极高的应用，最大时延必须严格控制在一定范围内；时延抖动则表示时延的变化幅度，过大的时延抖动会影响数据的实时处理和决策的准确性。

3.1.2 可靠性相关指标

除了数据传输成功率外，还可引入误码率（BER）、帧错误率（FER）等指标。误码率是指接收到的错误比特数与总传输比特数的比值，帧错误率是指接收到的错误帧数与总传输帧数的比值，这些指标能够更细致地反映数据传输的质量和可靠性。

3.1.3 可用性相关指标

可用性可通过系统可用时间比例、故障恢复时间等指标来衡量。系统可用时间比例是指在一定时间内系统能够正常提供服务的时间占比；故障恢复时间是指系统从出现故障到恢复正常运行所需的时间，较短的故障恢复时间有助于提高系统的可用性^[3]。

3.2 可靠性验证方法

3.2.1 理论分析

理论分析是验证5GURLLC技术在车联网中可靠性的基础。通过对5GURLLC技术的关键指标，如时延、误码率、丢包率等进行数学建模和分析，可以推导出在不同场景下通信的可靠性表达式。例如，可以采用排队论的方法对车联网中的信息传输过程进行建模，分析信息在队列中的等待时间和传输时延，从而评估通信的可

靠性。在理论分析过程中，需要考虑多种因素的影响，如信道条件、网络拓扑结构、业务负载等。通过对这些因素进行合理的假设和建模，可以得到较为准确的可靠性评估结果。理论分析的优点是可以快速得到不同参数下的可靠性指标，为后续的仿真实验和实际道路测试提供理论指导。然而，理论分析往往基于一些理想化的假设，与实际情况可能存在一定的差距。

3.2.2 仿真实验

仿真实验是验证5GURLLC技术在车联网中可靠性的重要手段。通过搭建车联网仿真平台，模拟不同的车联网场景和通信环境，对5GURLLC技术的性能进行测试和评估。在仿真实验中，可以采用专业的网络仿真软件，如NS-3、OMNeT++等，结合车联网的相关协议和标准，构建车联网通信模型。在仿真实验过程中，可以设置不同的参数，如车辆密度、行驶速度、通信距离、业务类型等，以模拟不同的车联网场景。通过对仿真结果进行分析，可以得到5GURLLC技术在不同场景下的时延、可靠性、吞吐量等性能指标。仿真实验的优点是可以灵活地设置各种参数，模拟复杂的车联网场景，并且可以重复进行实验，以获得较为准确的统计结果。然而，仿真实验的结果仍然与实际情况存在一定的差异，需要通过实际道路测试进行验证。

3.2.3 实际道路测试

实际道路测试是验证5GURLLC技术在车联网中可靠性的最直接方法。通过在实际道路环境中部署车联网设备和5G通信基站，对5GURLLC技术的性能进行实地测试和评估。在实际道路测试中，需要选择不同的测试场景，如城市道路、高速公路、停车场等，以覆盖不同的交通环境和通信条件。在实际道路测试过程中，可以采用专业的测试设备，如时延测试仪、误码率测试仪等，对5GURLLC技术的关键指标进行实时监测和记录。同时，还可以结合车联网应用的实际需求，开展一些典型应用的测试，如碰撞预警、紧急制动等，以验证5GURLLC技术在这些应用中的可靠性和有效性。实际道路测试的优点是能够真实地反映5GURLLC技术在车联网中的性能，为技术的推广和应用提供有力的依据。然而，实际道路测试的成本较高，测试周期较长，并且受到实际环境的限制，难以覆盖所有的测试场景^[4]。

4 5GURLLC 技术在车联网中的场景适配策略

4.1 不同车联网应用场景分析

4.1.1 自动驾驶场景

自动驾驶是车联网的核心应用之一，对通信技术的时延和可靠性要求极高。在自动驾驶过程中，车辆需要

实时获取周围环境信息,如其他车辆的位置、速度、行人动态等,并根据这些信息做出快速决策,如制动、转向等。因此,自动驾驶场景要求URLLC技术提供极低的端到端时延(通常小于10ms)和高可靠性(可靠性达到99.999%以上),以确保车辆的安全行驶。

4.1.2 智能交通管理场景

智能交通管理系统通过车联网技术实现交通信号灯的智能控制、交通流量的实时监测和优化调度等功能。在该场景下,URLLC技术主要用于传输交通状态信息和控制指令,对时延的要求相对自动驾驶场景略低,但也需要保证在一定范围内(如端到端时延小于50ms),同时要求较高的可靠性,以确保交通管理的准确性和有效性。

4.1.3 车载信息服务场景

车载信息服务包括多媒体娱乐、远程车辆诊断、车辆定位导航等功能。该场景对通信技术的时延和可靠性要求相对较低,但需要较大的带宽来支持高清视频、音频等大数据量的传输。URLLC技术在该场景中主要与其他5G技术(如增强移动宽带eMBB)相结合,为用户提供高质量的车载信息服务。

4.2 场景适配策略

4.2.1 参数动态调整策略

根据不同场景对时延、可靠性等指标的要求,动态调整URLLC技术的相关参数,如调制编码方式、传输功率、调度策略等。例如,在自动驾驶场景下,采用高阶调制和低码率的编码方式,以提高数据传输的可靠性;同时,增加传输功率,增强信号的覆盖范围和抗干扰能力。在智能交通管理场景下,可以根据交通流量的变化动态调整调度策略,优先保障关键信息的传输。

4.2.2 网络切片技术

网络切片技术能够将5G网络划分为多个逻辑独立的虚拟网络,每个网络切片可以根据不同应用场景的需求进行定制化配置。在车联网中,可以为自动驾驶、智能交通管理等不同场景分配独立的网络切片,为每个切片分配特定的网络资源(如带宽、时延、可靠性等),从而满足不同场景对通信技术的差异化需求。例如,为自动驾驶场景分配一个高可靠性、低时延的网络切片,确保关键安全信息的优先传输。

4.2.3 多接入边缘计算(MEC)技术

MEC技术将计算和存储资源部署在网络边缘,靠近用户终端,能够减少数据传输的时延,提高系统的响应

速度。在车联网中,结合MEC技术,可以将部分数据处理和决策功能下沉到网络边缘,如车辆周围环境的实时感知、交通信息的本地处理等。这样不仅可以降低对核心网络的传输压力,还能进一步提高URLLC技术的时延性能,满足车联网应用场景的实时性要求。

5 结论与展望

5.1 研究成果总结

本文围绕车联网(V2X)中5GURLLC技术的可靠性验证与场景适配问题展开了深入研究。首先分析了车联网的发展现状和对通信技术的需求,阐述了5GURLLC技术在车联网中的重要性和关键特性。接着构建了可靠性验证指标体系,介绍了理论分析、仿真实验和实际场景测试等多种可靠性验证方法。然后针对车联网的不同应用场景,提出了参数动态调整、网络切片和多接入边缘计算等场景适配策略,以提高URLLC技术在车联网中的适用性和性能表现。

5.2 研究不足与展望

尽管本文在5GURLLC技术的可靠性验证与场景适配方面取得了一定的研究成果,但仍存在一些不足之处。例如,在实际场景测试中,测试范围和测试时间有限,可能无法全面覆盖各种复杂的实际环境;场景适配策略的实用性和有效性还需要进一步在实际系统中进行验证和优化。未来的研究可以进一步拓展测试场景和规模,深入探索更加智能、高效的场景适配算法和技术,结合人工智能、大数据等新兴技术,实现5GURLLC技术在车联网中的自适应优化和智能决策,推动车联网向更加安全、高效、智能的方向发展。同时,随着6G技术的研发逐步展开,如何将6G中的相关先进技术引入车联网,进一步提升车联网通信的性能和可靠性,也是未来值得深入研究的方向。

参考文献

- [1] 宋安平,高新平,黄华.基于新型互联网交换中心的跨运营商5G+V2X车联网技术研究[J].江苏通信,2023,39(04):61-64.
- [2] 龙青良,李展,李一.5GuRLLC应用场景分级及解决方案研究[J].邮电设计技术,2023,(11):28-32.
- [3] 邓雄祥.面向5G环境下uRLLC场景的polar码编译码算法的研究[D].西南科技大学,2022.
- [4] 苑广勇.基于5G的V2X车联网通信模组技术应用[J].电子技术,2023,52(07):56-57.